Cat.No.100-820

取　扱　説　明　書

光センサ（赤外）
PS-2148

この取扱説明書をよくお読みのうえ，安全事項・警告内容を
充分ご理解いただき，正しくご使用ください。
いつでもこの取扱説明書が使用できるように大切に保管ください。

株式会社 島津理化

PASCO®
www.pasco.com

目次

はじめに ····· **1**

概要 ····· **2**

構成品 ····· **2**
- 構成品 ····· 2
- 必要関連機器 ····· 2
- 推奨関連機器 ····· 2

センサの設定 ····· **3**

背景 ····· **3**
- 赤外線放射 ····· 3
- 理論 ····· 3

注意事項 ····· **5**
- 視野 ····· 5
- 出力と強度 ····· 5
- 検知器の温度制御 ····· 6
- 非接触での温度センサのシミュレーション ····· 6

実験例 ····· **8**
- 太陽熱放射 ····· 8
- 強度と距離 ····· 8
- 強度と温度 ····· 8
- 冷却 ····· 8
- 強度と放射率 ····· 8
- 放射出力と電球による入力 ····· 9
- 熱力学の第２法則 ····· 9

KRS-5 窓の透過率 ····· **9**

仕様 ····· **9**

はじめに

このたびは『光センサ（赤外）PS-2148』をお買い上げいただきまことにありがとうございます。
ご利用の際に，この取扱説明書をよくお読みいただき，本器の機能を十分に生かして安全に正しくご使用ください。

ご使用に際しての安全上の注意事項

この取扱説明書および製品には，安全にご使用いただくためのいろいろな表示をしています。その内容を理解することなく誤った取り扱いをすることによって生じる内容を次のように規定しています。
この取扱説明書に記載されている内容をよく理解してからご使用ください。

注　記	装置を正しく使用していただくためのヒント的情報を示しています。

概要

光センサ（赤外）PS-2148 は広範なスペクトル域にわたって赤外線強度を測定します。光センサ（赤外）を用いて黒体放射，ステファン・ボルツマンの法則，放射による熱の流れ，太陽の放射輝度，非接触温度測定など，さまざまな現象を学習することができます。

窒素封入されたセンサの臭沃化タリウム（KRS-5）窓つきシリコンベースサーモパイル（熱電対列）は，0.7～30μmのフラットなスペクトル感度を有し，放射強度は最大4500W/m²まで測定できます。一体型のサーミスタが検知器の温度を測定し，検知器からの放射を計算することができます。PASPORTインターフェイスと併用し，毎秒最大100個のサンプルからサーモパイル電圧，放射強度，検知器の温度を測定，記録することができます。

注　記	**この取扱説明書の DataStudio に関する記述は，DataStudio バージョン 1.9.7r8 に基づいておりますので，ご使用の DataStudio のバージョンによっては異なる場合があります。**

構成品

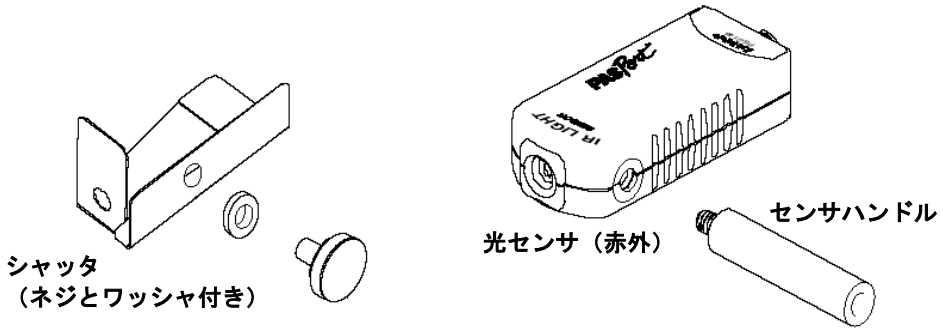


図 1：構成図

構成品

・光センサ（赤外）　PS-2148
・シャッタ（ネジとワッシャ付き）
・センサハンドル

必要関連機器

・コンピュータ
・PASPORT インターフェイス
・DataStudio または DataStudio Lite ソフトウェア

推奨関連機器

・PASPORT Extension Cord　PS-2500
・Aperture Bracket　OS-8534
・Thermal Cavity　TD-8580

センサの設定

PASPORT インターフェイスに光センサ（赤外）を直接，または PASPORT Extension Cord を使って接続します。コンピュータを使用する場合は，インターフェイスを USB ポートに接続し，DataStudio を起動します。

初期設定では，センサの取込速度は 100Hz です。これを変更するには，DataStudio で“実験の設定”ウィンドウを開くか，Xplorer GLX の“センサスクリーン”を開きます。対象物の温度を測定するためにセンサを設定するには，“非接触での温度センサのシミュレーション”（6 ページ）をご参照ください。

必要であれば，センサハンドルをセンサの 1/4-20 スレッドコネクタに接続します。このコネクタには他の 1/4-20 ネジを使用することもできます。

シャッタは必ずしも必要とは限りませんが，検知器の温度を制御するのに便利です。同梱のネジとワッシャを使用し，図 2 のようにシャッタを取り付けます。ネジの代わりにセンサハンドルを使用することもできます。

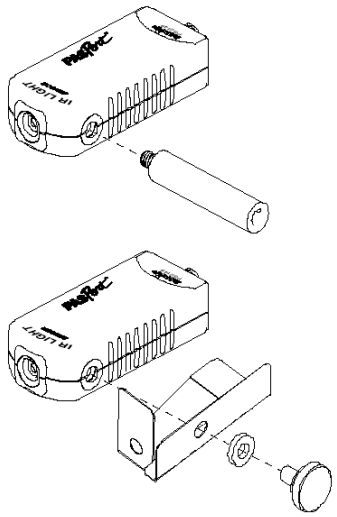


図２：センサハンドルとシャッタの取り付け

赤外線強度を測定するには，手や太陽などの物体の表面にセンサを向け，DataStudio または PASPORT インターフェイスでデータの記録を開始します。DataStudio では，強度はデジタル表示ウィンドウに自動的に表示されます。DataStudio または Xplorer GLX では，データはグラフ，数表，またはメータでも表示できます。

背景

赤外線放射

あらゆる物体は赤外線を放出します。物体の単位面積あたりの放射出力は，ステファン・ボルツマンの法則で示されます。

$$I = \varepsilon \sigma T^4$$

ここで，Tは物体の表面の絶対温度，σ はステファン・ボルツマン定数（$5.670 \times 10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$）です。放射率 ε は各物体表面に固有の値で，その範囲は 0 から 1 です。 ε = 1 の物体は，黒体と呼ばれます。

理論

無限平面とみなされる形状の温度 T_s の黒体と，線源に平行で面積 A_d の平らな検知器表面があるとします。

無限平面からの放射は平面波として伝搬するので，線源から検知器までの電力潮流（P_{sd}）は，線源と検知器の距離にかかわらず，線源上の検知器と同じ面積の部分から放出される放射と同一になります。

$$P_{sd} = A_d \sigma T_s^4$$

検知器自体もまた，ステファン・ボルツマンの法則に従って放射します。検知器の温度が T_d であれば，検知器から放出される放射出力は次のようになります。

$$P_d = A_d \sigma T_d^4$$

したがって，検知器によって吸収される正味の出力は次のようになります。

$$P = A_d \sigma (T_s^4 - T_d^4)$$

センサが測定する正味の強度は，正味の出力を検知器の面積で割ることで算出されます。

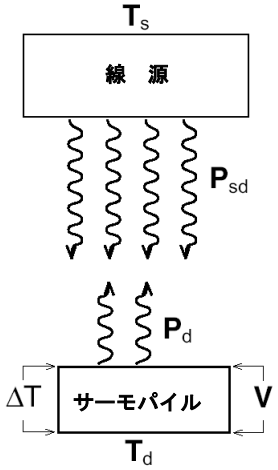


図３：理論

放射によって検知器のアクティブな領域に流れる正味の出力（$P_{sd} - P_d$）は，センサの他の部分への伝導により，検知器から流出します。その出力のうち，一定の割合がサーモパイルを通じて伝導され，これによりサーモパイル上で温度差（ΔT）が生じます。サーモパイルはΔTに比例する電圧（V）を発生させます。

センサの温度がターゲット線源の温度よりも高い場合，正味の出力はセンサから流出し，ΔT と V はマイナスになります。

正味の放射出力（P）はサーモパイル上の電力潮流に比例しますが，このサーモパイル上の電力潮流はΔTに比例し，さらにΔTは Vに比例します。つまり，Vは Pに比例することになります。

$$V = \mathcal{R} P$$

定数 $\mathcal{R}$は検知器の応答度です。光センサ（赤外）の $\mathcal{R}$は約 31 V/W です。

センサはサーモパイルから生じた電圧を増幅し，デジタル信号に変換します。センサのマイクロプロセッサが強度を計算します（入射電力を検知器の面積 2.25 mm² で割ります）。サーモパイルの電圧と強度データは，PASPORT インターフェイスまたはコンピュータにデジタル的に送信されます。

＊サーモパイルとは？

サーモパイル（熱電対列）は，サーモカップル（熱電対）を直列に接続したものです。
サーモカップルは，2 つの異なる金属を結合したものです。温度の異なる 2 つのサーモカップルが直列に接続されると，温度差に比例する電圧がサーモカップル間に生じます。
この電圧は通常，非常に小さなものですが，サーモパイルでは多数のサーモカップルを接続することで大きな電圧が発生します（図 4 を参照）。光センサ（赤外）のサーモパイルは，シリコンでエッチング処理を施した 120 の結合部から構成されます。

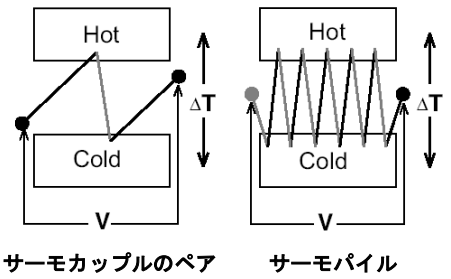


図４：サーモパイル

注意事項

視野

線源の物体とセンサの配置には2つの簡単な方法があります。

1 つ目の方法では，線源を無限平面とみなします。放射は平面波として線源から伝搬し，線源からの距離が大きくなっても強度は大きくなりません。このような配置では，センサのアクティブな領域に入射する放射電力は，線源の同じ面積の領域からの放射電力と等しくなります。この近似はセンサの視野（92°）全体を線源がカバーする場合にもっとも精度が高くなります。

もう 1 つの配置方法は線源を点とみなすものです。この場合，点源から放出される放射の強度は，逆二乗の法則に従います。点源は，アクティブな領域全体を照射するために，48°の視野内に収まる必要があります。放射が窓とアクティブな領域に対して法線を成すよう，線源はセンサのすぐ前に置くことが理想的です。考慮に入れないその他の放射線源は，92°の視野外に配置します。

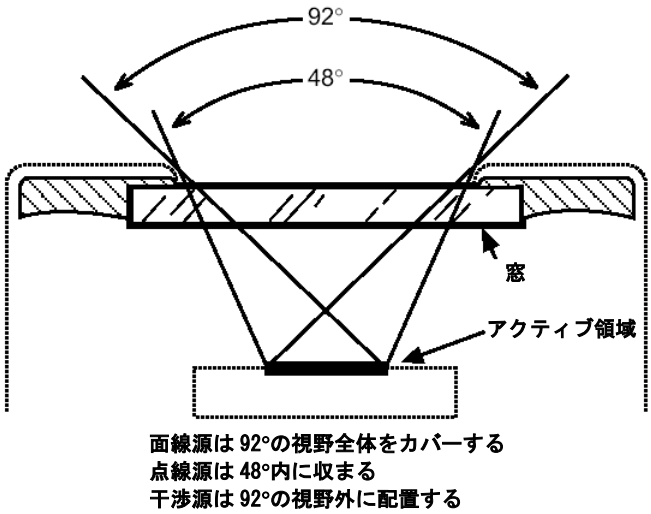


図５：視野

出力と強度

センサは正味の強度，つまり正味の出力を検知器のアクティブな領域で割ったものを測定します。正味の出力の公式は $P = IA_d$ です。ここで，Iは測定した正味の強度，A_dは検知器の面積2.25 mm^{2}です。

正味の出力は，すべての外部線源からの入射出力（P_{sd}）から，検知器からの放射出力を引いた値です（$P = P_{sd} - A_d \sigma T_d^4$）。

検知器の温度T_dは，一体化されたサーミスタによって測定されます。

注　記	検知器の温度をDataStudioに表示させるには，“実験の設定”ウィンドウで測定項目の“温度”にチェックを入れ，単位を“K”に設定します。Xplorer GLXでは，センサスクリーンで設定します。

検知器の温度制御

高温の物体のそばにセンサを置くと検知器の温度は高くなり，物体から検知器を離すと検知器の温度は下がります。検知器の温度を一定に保った状態で複数の強度測定を行うには，測定と測定の間では，すべての高温の物体から検知器を離し，検知器を冷却します。その後，測定する物体の近くにセンサを置き，検知器の温度を監視します。検知器の温度が一定の値に達したら，強度を記録します。

または，センサにシャッタを取り付け，それを開閉することで温度を制御することもできます。

非接触での温度センサのシミュレーション

センサによって記録されたデータと校正定数に基づき，物体の温度を計算することができます。

ターゲットとなる物体が黒体とみなされる場合，サーモパイルの電圧は次のようになります。

$$V = k(T_s^4 - T_d^4)$$

ここでkは，温度既知の物体を用いて実験的に求められる定数です。

また，検知器のアクティブな領域の温度 T_d も把握しておく必要があります。組み込みのサーミスタは T_d を直接測定するわけではなく，サーモパイルの反対側の温度（$T_d - \Delta T$）を測定します。しかし，ΔT は常に T_d（ケルビン単位で測定）よりもはるかに小さいので，サーミスタの温度は T_d にかなり近似されます。

注　記	検知器の温度を DataStudio に表示させるには，“実験の設定”ウィンドウで測定項目の“温度”にチェックを入れ単位を“K”に設定します。

注　記	この測定値は検知器の温度です。ターゲットの物体の温度と間違えないようにしてください。

定数kは使用される特定のセンサの特性，ターゲットとなる物体の表面と完全な黒体とのずれ，空気といった媒介など，それぞれの測定の設定に特有の要素に左右されます。できるだけ精度の高い結果を得るために，測定対象となる未知の温度の物体に類似する既知の温度の物体を用いて，kの値を実験的に求めます。

温度校正のために，温度を変化させることができ，かつその温度を直接測定できる物体が必要です。カップ 1 杯のお湯を使うと便利です。しかし理想的には，放射率が 1 に近くなるよう，表面がつや消しのものが良いでしょう。

また，温度を直接測定するための温度センサも必要です。PASCO 高速応答プローブ（PS-2135）は微小な変化にも迅速に反応するので，この用途に適しています。このプローブを温度センサ（PS-2125）などとともに使用します。または Xplorer GLX の温度ポートにプローブを直接接続します。

カップの表面がセンサの視野全体をカバーするよう，光センサ（赤外）をカップの近くに置きます（ただし接触させないこと）。こうすることで，表面が無限平面とみなされ，物体とセンサ間の距

離が意味を持たなくなります。高速応答温度プローブの端を，カップの中（センサが向いている側に近い方）に入れます。

$(T_s^4 - T_d^4)$を計算し，$(T_s^4 - T_d^4)$とサーモパイル電圧の関係をグラフ表示するよう，DataStudio ソフトウェアを設定します。

注　記	T_sは温度プローブによって測定された温度，T_dはセンサの内蔵サーミスタによって測定された温度です。

カップに 70℃程度のお湯を注ぎます。氷を入れられる程度に余裕を残しますが，お湯の表面がセンサの視野よりも上になるようにします。

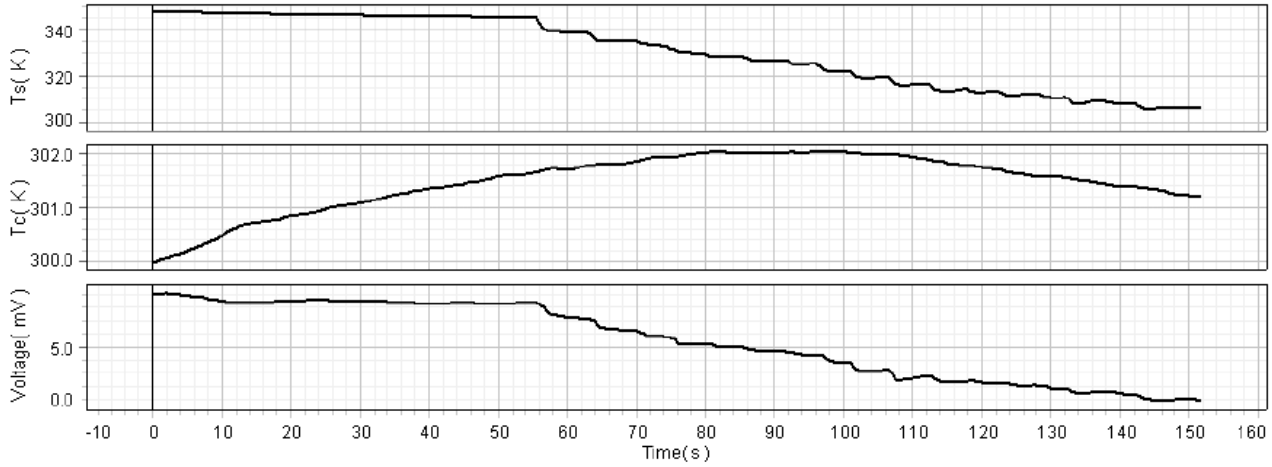
DataStudio ソフトウェアで“開始”ボタンをクリックして，データの記録を開始します。

グラフウィンドウの“フィット”機能を使用して，（$T_s^4 - T_d^4$）－電圧のグラフに，“一次フィット”を適用します。もっともよくフィットする直線の傾きがkになります。

このk値を使用し，次の形式の計算を作成します。

$$T = (kV + T_d^4)^{1/4}$$

ここで，Vはサーモパイルの電圧，T_dは検知器の温度です。温度が未知の物体の赤外データを取ります。Tが，計算される物体の温度です。



湯に氷を加えていったときの，線源の実際の温度（上），検知器の温度（中央），電圧（下）

図６：データ１

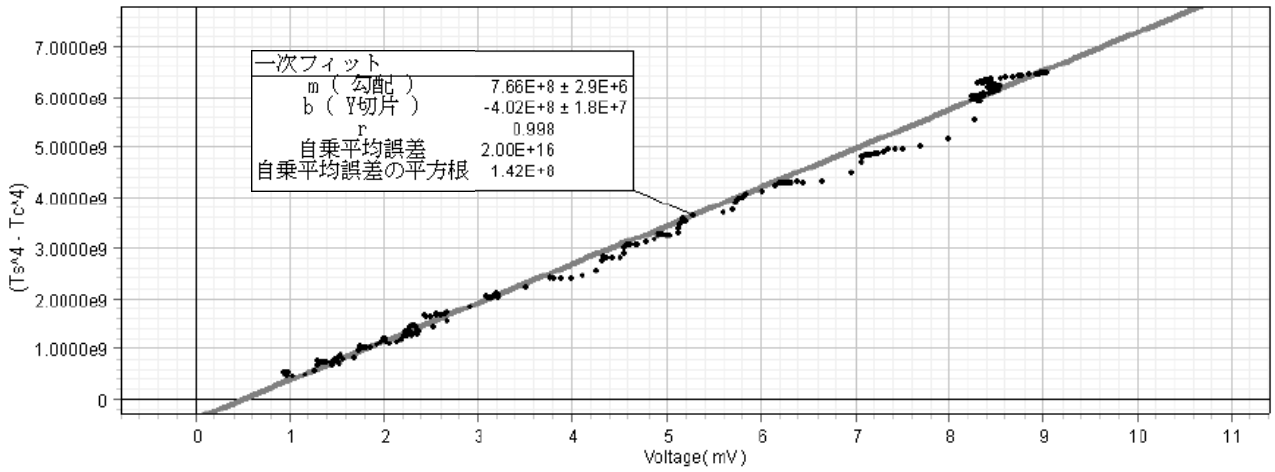


図７：($T_s^4 - T_d^4$) ー電圧グラフ

実験例

太陽熱放射

太陽からの放射強度を測定し，これを空の別の部分からの放射強度と比較します（空の温度を測定する場合，太陽および他の物体（木や建造物など）が視野にないことを確認します)。

雲の有無や太陽の角度は，放射強度にどのような影響を与えるでしょうか。強度測定によると，太陽から放射される総出力はどれくらいになるでしょうか。表面温度は何度でしょうか。

強度と距離

距離の関数として，強度をグラフ化します。小さな電球のフィラメントなどといった点の線源と，ホットプレートなどの大きな線源を比較します。

強度と温度

物体の温度（または物体とセンサとの温度差）は，正味の強度とどのような関係があるでしょうか。

冷却

高温の物体が冷えていく時の温度を測定し，放射強度を測定します。温度変化の割合と，総放射出力を比較します。また，総温度変化と総放射出力も比較します。放射以外に何が熱損失の原因となっているでしょうか。

強度と放射率

Thermal Cavity TD-8580 を使用し，同一温度の異なる表面から放出される放射強度を測定します。表面の色と質感は，放射強度にどのような影響を与えるでしょうか。表面からの強度と，同一温度の穴からの強度を比較します。

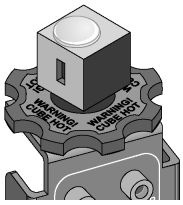


図８：Thermal Cavity (TD-8580)

放射出力と電球による入力

小さな電球に加えられる電圧と電流，および電球から放出される放射出力を測定します。入力電力と総放射出力を計算します。

注　記	PASCO 社の EM-8627 は，この実験に適した電球 25 個をパックにしたものです。この電球は電球ソケット（EM-8630，10 個パック）と，300mA 2V の電源とととも使用できます。PASPORT 電圧/電流センサ PS-2115 を用いて，電球に供給される電力を測定することができます。

熱力学の第２法則

熱力学の第２法則によると，熱は高温の物体から低温の物体に向かって流れる傾向があります。熱は放射を通じて伝わるので，物体が互いに接触している必要はありません。

センサよりも温度が低い物体の正味放射強度を測定します。エネルギーはどの方向に流れるでしょうか。物体とセンサが同じ温度になるまで待ちます。エネルギーの流れはどうなるでしょうか。

KRS-5 窓の透過率

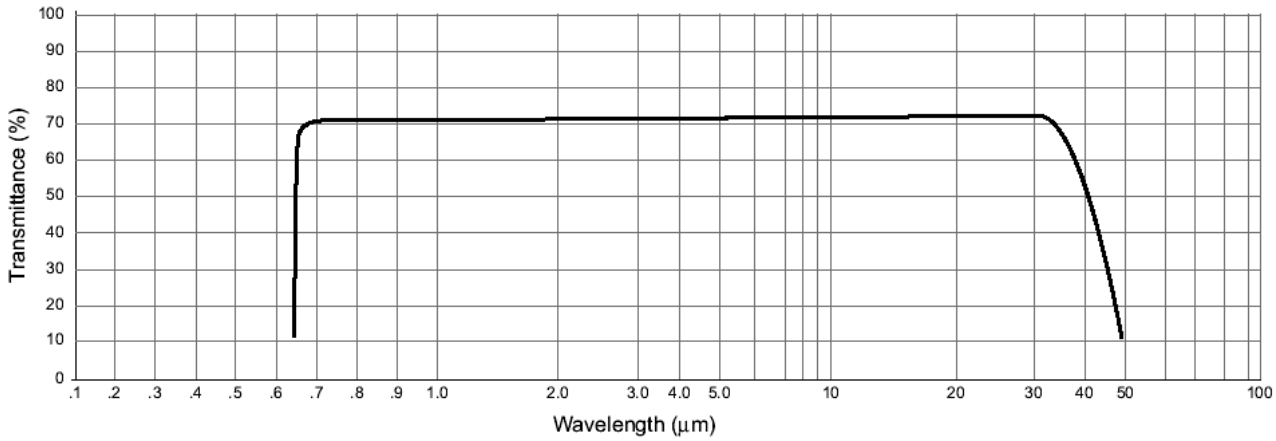


図９：KRS-5 窓の透過率

仕様

アクティブ領域のサイズ	1.5 × 1.5mm
素子面積	2.25 mm^2
サーモカップル結合数	120
視野	48° または 92°（詳細については“視野”を参照）
強度範囲	−500～4500 W/m^2（最大） 0～1000 W/m^2（直線）
スペクトル応答	0.7～30 µm においてフラット
窓材質	KRS-5（透過率グラフを参照）
封入ガス	窒素
応答度	31±7 V/W

株式会社 島津理化

〒136-0071　東京都江東区亀戸6丁目1番8号
TEL （03）5626-6600
URL : http://www.shimadzu-rika.co.jp

本製品の技術的お問合せは, コールセンターまで
フリーダイヤル　0120-376-673（携帯電話，PHSではご利用になれません。）
受付時間　平日9：00～12：00，13：00～17：00
e-mail：soudan@shimadzu-rika.co.jp　　Fax：（075）823-2804

M100820D1102TY001
2011.02.01TD (D-4665)